www.noavarpub.com

سازهٔ برج‌ها و دکل‌های مخابراتی

Structural Arrangements for Telecom

Towers & Masts

تألیف و ترجمه: مهندس سید محی‌الدین ثقت‌الاسلام

Seyed Mohyeddin Seghatoleslam

بسم الله الرحمن الرحیم

سازهٔ برج‌ها و دکل‌های مخابراتی

تألیف و ترجمه: مهندس سید محی‌الدین ثقت‌الاسلام

www.noavarpub.com

سرشناسه	: ثقت‌الاسلام، محی‌الدین، ۱۳۳۹ -
عنوان و نام پدیدآور	: سازه برج‌ها و دکل‌های مخابراتی: ویژه مهندسین سازه و مخابرات/ تالیف و ترجمه سیدمحی‌الدین ثقت‌الاسلام.
مشخصات نشر	: تهران : نوآور، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	: ۲۰۸ ص.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۸۷-۵
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
موضوع	: دکل‌های رادیو و تلویزیون
رده بندی کنگره	: TK ۶۵۶۵/ ۷ث‌ت/ ۱۳۹۳
رده بندی دیویی	: ۳۸۲۳/۶۲۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۵۳۷۴۹۱

سازهٔ برج‌ها و دکل‌های مخابراتی

تألیف و ترجمه: مهندس سید محی‌الدین ثقت‌الاسلام

ناشر: نوآور

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

مدیر تولید: محمدرضا نصیرنیا

نوبت چاپ: اول ـ ۱۳۹۳

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۸۷-۵

نشر نوآور

قیمت: ۱۵۰۰۰ تومان

نمایشگاه دائمی و مرکز فروش:

نوآور: تهران ـ خ انقلاب، خ فخررازی، خ شهدای ژاندارمری نرسیده به خ دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸، طبقه دوم، واحد ۶

تلفن: ۶۶۴۸۴۱۸۹

www.noavarpub.com

فروشگاه ۱: تهران خ انقلاب، نبش خ ۱۲ فروردین پلاک ۱۳۱۰، کتابفروشی الیاس تلفن: ۶۶۹۵۵۸۷۸ - ۶۶۴۰۵۰۸۴
فروشگاه ۲: تهران خ انقلاب، مقابل دانشگاه تهران، جنب بانک ملت، پلاک ۱۲۱۲، کتابفروشی گوتنبرگ تلفن: ۶۶۴۱۳۹۹۸-۶۶۴۰۲۵۷۹
فروشگاه ۳: تهران خ انقلاب، بین خ ۱۲ فروردین و اردیبهشت، پلاک ۱۳۱۲، کتابفروشی صانعی تلفن: ۶۶۴۰۹۹۲۴ - ۶۶۴۰۵۳۸۵
فروشگاه ۴: اصفهان، م انقلاب، خ چهار باغ عباسی ابتدای خ سید علی خان، کتابفروشی مهرگان تلفن: ۰۳۱۱۲۲۱۳۷۵۱
فروشگاه ۵: تبریز، خ امام، فلکه دانشگاه، اول خ دانشگاه، کتابفروشی علامه تلفن: ۰۴۱۱۳۳۴۱۶۶۹ ـ ۰۴۱۱۳۳۴۱۹۸۶

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور می‌باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی دی، دی وی دی، فیلم فایل صوتی یا تصویری و غیره) بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حرام است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

Preface

Telecommunication plays a vital role in shaping modern society. Today, it is universally recognised that radio and television are essential tools for broadcasting news and information across the globe, carrying with them immense cultural and social influence. Over the past few decades, advances in technology have dramatically expanded the scope and efficiency of these mass communication systems. Satellite technology, in particular, has facilitated global coverage, allowing signals to reach even the most remote areas.

Despite the proliferation of satellite-based systems, the construction of ground-based transmitter antennas—and the towers and masts that support them—remains crucial. These metal or concrete structures serve as the backbone for transmitting electromagnetic waves to conventional receivers, ensuring robust and reliable communication networks.

The design and construction of telecom towers and masts is a highly specialised field, requiring close collaboration among a diverse team of professionals, including telecommunication engineers, structural and geotechnical engineers, and architects. These structures may rise as landmarks in urban landscapes or be strategically placed atop mountains and highlands to maximise coverage.

From an architectural perspective, the structural integrity and performance of telecom towers are fundamental to the realisation of any design concept. A deep understanding of structural principles is essential—not only to ensure safety and functionality but also to preserve the aesthetic and symbolic value these towers often represent. They stand as elegant yet powerful emblems of human ingenuity, technological progress, and the desire to connect across distances.

This book seeks to answer key questions surrounding the planning and construction of such towers and masts:

- How should these monumental structures be designed and built?
- What are the main factors that influence their location, form, and height?
- How do environmental, technical, and aesthetic considerations interact in their realisation?

These and many other questions are explored throughout the chapters of this book.

The current (second) edition of "***Structural Arrangements for Telecom Towers & Masts***", published by Noavar Publications, comprises 12 chapters and is written in

Persian. The opening chapter provides a brief overview of the historical development of communication technology. The following chapters present a concise classification of telecom structures and introduce key concepts such as antenna arrays and radiation patterns.

Chapters 4 to 6 delve into the materials, construction methods, and technical aspects of telecom antennas and the structural systems that support them. The foundational principles of structural design—focusing specifically on towers and masts—are covered in detail in Chapters 9 and 10. These chapters also include case studies and analyses of notable existing structures from around the world. The book concludes with a comprehensive glossary of technical terms related to antennas and their associated components, intended to aid readers from various professional backgrounds.

I hope this book serves as a valuable reference for engineers, architects, researchers, and students engaged in the field of telecommunication infrastructure.

Seyed Mohyeddin Seghatoleslam

پیشگفتار

اهمیت تبادل اطلاعات و نقش سیستم‌های مخابراتی و خبررسانی، امروزه بر همگان آشکار می‌باشد، به گونه‌ای که عصر حاضر، دوران انقلاب اطلاعاتی نامیده شده است.

در این میان رادیو و تلویزیون، اهمیت ویژه‌ای را در رساندن اخبار و اطلاعات به اقصی نقاط جهان دارا بوده، و اثرات فرهنگی عظیمی در جامعه بر جای می‌گذارند. هم اینک با استفاده از پیشرفتهای تکنولوژی چند دهه اخیر، روز به روز بر حیطه عمل و کارآیی این تاسیسات افزوده شده و با بکارگیری ماهواره‌های مخابراتی، امکان پوشش جهانی برای فرستنده‌ها بوجود آمده است. در این میان نیاز به آنتن‌های فرستنده زمینی و احداث دکل‌ها و برج‌های فلزی و بتونی، برای نصب آنتن‌های فرستنده جهت رساندن امواج به گیرنده‌های متعارف، ضروری می‌باشد.

به دلیل نیاز به کسب اطلاعات تخصصی در زمینه آنتن‌های موجود، انجمن رادیویی اروپا برای تمام مسئولین و رؤسای بنگاه‌های رادیو تلویزیونی سراسر جهان پرسش نامه‌ای فرستاد، و طی آن راجع به انواع برج‌ها، دکل‌ها، آنتن‌ها و فیدرهای مورد استفاده در باندهای VHF و UHF اطلاعاتی را جویا شد. پاسخ‌های رسیده، طیف وسیع و گسترده‌ای از طرح‌ها را در بر میگرفت، و از اهمیت نسبی عوامل تعیین کننده نوع سازه‌های مورد استفاده، حکایت میکرد.

در جریان این تحقیق، دو گرایش یا روند عمده آشکار شد. یکی استفاده از سایت و سازه مربوطه برای خدمات غیر مخابراتی، و دیگر توجه روزافزون به محافظت سیستم‌های آنتن در قبال تاثیرات منفی اقلیمی. اولین گرایش، باعث بوجود آمدن سازه‌هایی نظیر برج‌های بتونی مجهز به ایوان‌های عمومی تماشای مناظر و مرایا، طبقه ارتباطات میکروویو و مراکز اداری مربوطه گردیده است، و دومین گرایش، به تاثیر خواص مصالح فایبرگلاس با اتصالات رزینی و پیشرفت‌های حاصله در ساخت آن‌ها، بر می‌گردد. انتظار می‌رود استفاده از بتن مسلح در سازه‌های مرتفع و نیز فایبرگلاس بعنوان مصالح سازه‌ای، در جریان توسعه سریع و پیشرفت‌های مهم، بعنوان تکنیکی رو به رشد، مورد استفاده قرار گیرند. علی ایحال، مصالح سنتی یعنی فولاد گالوانیزه هم در اشکال مقاطع زاویه دار (مانند نبشی)، بصورت میله‌ای و هم بصورت صفحه ای، در درجه اول اهمیت قرار دارند. در اینجا لازم به ذکر است که شیوه‌های اتصال در حال تغییر و دگرگونی هستند، هم در اتصالات پیچ و مهره‌ای و هم در اتصالات پرچی. اگرچه از اتصالات جوش هم استفاده می شود، تا باعث کاهش وزن و سهولت ساخت، گردد.

امروزه مستمراً، به مسئله فشارهای حاصل از وزش باد بر مقاطع سازه‌ای و همچنین تعیین

سرعت باد در سطح زمین و در سطوح سازه‌ای مورد نظر، جهت تعیین تنش‌های واقعی تولید شده در عناصر سازه‌ای توجه می‌شود. جلوگیری از بروز خوردگی در مصالح و ترکیبات مختلف، همچنین احتراز از تنش‌های ناشی از خستگی و انجماد، از جمله مواردی هستند که بیش از پیش تحت مطالعه قرار دارند و این امر، از تاثیر خاص تکنیکی آنها بر کل طرح و مسایل و مشکلات فنی موجود در طراحی جزییات اجرایی آنتن‌ها، حکایت دارد.

با گسترش و توسعه اجتناب ناپذیر و دستیابی به باندهای با فرکانس بالا (یعنی باندهای IV/V برای پخش تلویزیونی، بطور خاص) ایستگاههای پخش و مخابره را باید در مکان هایی ساخت که ارتفاع موثر آنتن ها تا حد امکان، بالاتر از محیط پیرامون قرار گیرد، و همچنین رسانایی لایه‌های زیرین سطح زمین واجد اهمیت چندانی نباشد. این بدان معناست که در مواردی که نقاط مرتفعی موجود باشند باید تجهیزات را در آنجا نصب نمود و همانطور که می دانیم این نقاط دارای محدودیت های دسترسی و مشکلات حمل و نقل و دوری از تاسیسات برق می‌باشند، و در صورت عدم وجود نقاط مرتفع، می‌توان با بکارگیری دکل‌های مرتفع در زمین های مسطح و دشت مانند، به هدف مورد نظر دست یافت. ماهیت شبه نوری انتشار امواج UHF ممکن است منجر به سایه دار شدن تصویر در بخشی از مناطق خدماتی گردد و نتیجتا استفاده از فرستنده‌های کوچک پخش مجدد (تقویت کننده) را الزامی گرداند.

هدف از انتشار این کتاب، ارائه تصویری کلی از پیشرفت این عوامل، با عطف به مثال هایی است که در رویه‌های جاری اروپا دیده می‌شود. اطلاعات حاضر می‌تواند راهنمای مفیدی برای حل مسئله و نیز مشخص ساختن چارچوب لازم برای پاسخگویی به این شرایط باشد. شایان ذکر است که هدف، ارائه تحلیلی از اطلاعات مربوط به طراحی نیست. هر چند که از لابلای سطور این نیت، آشکار است، با این وصف، اگر چه استاندارد کردن طرح پایه های نگاهدارنده آنتن‌ها بعید به نظر می‌رسد (اگرچه واقعاً مطلوب می‌باشد) اما ایجاد یک ارتباط منطقی بین تیپ انتخابی و کاربری موردنظر، می‌تواند برای سازمان‌های مخابراتی، مفید واقع شود.

همانطور که می دانیم، انتخاب سازه باید بر مبنای صرفه جویی اقتصادی صورت گیرد (هرچند قیمت گذاری برروی ارزش مناطق مطلوب دشوار است)، اما همانطور که می‌دانیم هزینه اولیه هم همیشه هنگام بررسی طرح های مطلوب، مهمترین عامل محسوب نمی‌شود. یعنی زمانی که به دنبال طرح مطلوب هستیم، باید ابتدائا با برنامه‌ریزی اولیه یک ایستگاه یا تاسیسات جدید، هزینه خاصی را تعیین وسپس در مراحل بعدی با در نظر گرفتن تغییرات احتمالی، ارزیابی هزینه مورد نظر را دوباره بازبینی کنیم.

کتاب حاضر، متشکل از دوازده فصل می‌باشد، که درهر یک از فصول، راجع به مسائل اجرایی، فنی و تکنیکی آنتن‌ها و همچنین پایه‌های نگاهدارنده آنها به تفصیل سخن رفته است، و در فصول نهم و دهم، به مبانی نظری مسائل مطروحه و همچنین به معرفی چند برج و دکل

موجود اکتفا گردیده است. در انتهای کتـاب، واژه نامـه آنـتن هـا و تجهیـزات مربوطـه، جهـت استفاده خوانندگان گرامی به مجموعه کتاب اضافه گردیده است.

به دلیل کمبود منابع فارسی در این زمینه، کتاب حاضر، شاید اولین کتابی باشد که در رابطـه بـا جزئیات تکنیکی آنتن‌ها و پایه‌های نگاهدارنده آنها، به کندوکاو پرداخته و طبعاً سوژه آن بـدیع می‌باشد.

امید است که این کتاب، اثری قابل استفاده برای دانشجویان و دانش پژوهان عزیـز، بخصـوص متخصصین رشته‌های برق و الکترونیک و سازه باشد.

در خاتمه لازم به ذکر است که علیرغم دقت فراوان در امر تهیه و تنظیم مطالب، کتاب حاضـر، بدون شک، خالی از اشکال نمی‌باشد، لذا انتظار ارشاد از طرف خوانندگان عزیز امری معقول و منطقی بنظر می‌رسد.

سید محی الدین ثقت الاسلام

فهرست مطالب

فصل اول / تکنولوژی ارتباطات ۱۳
۱-۱ سیر تکاملی تکنولوژی ارتباطات ۱۳
۱-۱-۱ دوره تلگراف ۱۳
۲-۱-۱ دوره تلفن ۱۴
۳-۱-۱ دوره بی‌سیم ۱۵
۴-۱-۱ تلویزیون ۱۶
۵-۱-۱ رادار ۱۶
۶-۱-۱ دوره ماهواره ۱۷
۷-۱-۱ اینترنت ۱۸
۲-۱ آنتن و ارتباطات ۱۹
۱-۲-۱ امواج رادیویی ۱۹
۱-۱-۲-۱ پخش امواج ۱۹
۲-۱-۲-۱ ارسال امواج ۲۰
۳-۱-۲-۱ طول امواج ۲۰
۴-۱-۲-۱ شیوه‌های انتشار ۲۱
۵-۱-۲-۱ طیف فرکانس امواج رادیویی ۲۸
۲-۲-۱ ساختمان آنتن و انواع آن ۲۹
۱-۲-۲-۱ آنتن لوپ ۳۰
۲-۲-۲-۱ آنتن یک قطبی ۳۰
۳-۲-۲-۱ آنتن دی پل (دوقطبی) ۳۲
۴-۲-۲-۱ آنتن یاگی ۳۳
۵-۲-۲-۱ آنتن سهموی ۳۴
۳-۲-۱ تقسیم‌بندی آنتن‌ها از نظر نوع و مقدار فرکانس ۳۵
۱-۳-۲-۱ آنتن‌های فرکانس بالا – HF ۳۶
۲-۳-۲-۱ آنتن‌های VHF/UHF ۳۶
۳-۳-۲-۱ آنتن‌های SHF یا آنتن‌های مایکروویو ۳۶
فصل دوم /عوامل موثر بر انتخاب تکیه‌گاه و تیپ ساختمان ۳۹
۱-۲ سایت و دسترسی **۳۹**
۲-۲ پارامترهای آنتن **۴۲**
۱-۲-۲ توان تشعشع موثر ۴۲

۲-۲-۲ بهره آنتن ۴۲
۲-۲-۲-۱ بهره موثر و بهره حقیقی ۴۳
۲-۲-۲-۲ الگوی تشعشع افقی ۴۴
۲-۲-۳ نصب المانهای تشعشعی ۴۵
۲-۲-۳-۱ نصب بر روی دکل‌های انتهایی ۴۶
۲-۲-۳-۲- نصب بر روی سازه اصلی ۵۰
۲-۳ استفاده از سازه نگاهدارنده آنتن برای عملکردهای دیگر ۵۱
۲-۴ ویژگی‌های سازه‌ای ۵۵
۲-۴-۱ تیپ‌های عمده سازه‌ای ۵۵
۲-۴-۲ توسعه بعدی ۵۸
فصل سوم /تاثیر عوامل اقلیمی بر طراحی سازه ۵۹
۳-۱ بارهای باد و یخ ۵۹
۳-۱-۱ محاسبه فشار باد ۵۹
۳-۱-۲ محاسبه بار ترکیبی ناشی از یخ و باد ۶۳
۳-۱-۳ ثبات باد ۶۴
۳-۲ محافظت در برابر تغییرات جوی و آذرخش (برق آسمان) ۶۵
۳-۲-۱ محافظت در برابر یخ ۶۵
۳-۲-۲ نفوذ هوای مرطوب ۶۹
۳-۲-۳ محافظت در برابر برق آسمان ۶۹
فصل چهارم /مشخصات عمومی ساختمانی ۷۵
۴-۱ برج‌های بتونی ۷۵
۴-۲ برج‌های مشبک فلزی خودایستا ۷۷
۴-۳ دکل‌های مشبک فلزی مهاری ۸۲
۴-۴ دکل‌های فلزی لوله‌ای مهاری ۸۵
۴-۵ سازه‌های فایبرگلاسی رزینی ۸۷
فصل پنجم /انتخاب ارتفاع پایه نگاهدارنده آنتن‌ها ۸۹
۵-۱ ارتباط با بهره آنتن ۸۹
۵-۲ ارتباط با توپوگرافی منطقه تحت پوشش ۹۲
۵-۳ تاثیر انحراف دکل ۹۳
۵-۴ موانع سایت ۹۶
فصل ششم /وابستگی متقابل طراحی آنتن‌ها و نگاهدارنده‌های آنها ۹۹
۶-۱ آنتن‌های با آرایش خطی و آنتن‌های دکل فوقانی ۹۹
۶-۲ پایداری سازه نگاهدارنده آنتن ۱۰۲

۳-۶ فیدرها ۱۰۴
۱-۳-۶ فیدرهای ابتدایی ۱۰۴
۲-۳-۶ فیدرهای مدرن ۱۰۵
فصل هفتم /کاربرد همزمان دکل‌ها و برج‌های مخابراتی برای مقاصد دیگر ۱۰۷
۱-۷ استفاده از یک دکل موجود فرستنده موج متوسط ۱۰۷
الف) سیم پیچی فیدر ۱۰۸
ب) اتصال بوسیله مبدل (ترانسفورماتور) ۱۰۸
ج) نصب فیدر VHF یا UHF در فاصله معادل یک چهارم طول موج ۱۱۰
د) عایقکاری فیدر VHF در داخل دکل ۱۱۱
ه) تغذیه تابشگر دکل بصورت موازی ۱۱۲
۲-۷ دکل‌های مربوط به آنتن‌های تقویت رادیویی ۱۱۳
۳-۷ سایر تاسیسات مناسب برج‌ها ۱۱۴
فصل هشتم /مسائل مربوط به تعمیرات و نگهداری ۱۱۷
۱-۸ سازه‌های فولادی ۱۱۷
۲-۸ مهارها و تکیه‌گاه‌ها ۱۱۹
۱-۲-۸ مهارها ۱۱۹
۲-۲-۸ تکیه‌گاه‌ها ۱۲۰
۳-۲-۸ فونداسیون‌های تکیه‌گاه‌ها ۱۲۰
۳-۸ تنظیم کشش مهارها ۱۲۰
۴-۸ حفاظت آنتن‌ها ۱۲۲
۵-۸ تعمیر و نگهداری آنتن‌ها ۱۲۲
۶-۸ بازرسی و آزمایش فیدرها و آنتن‌ها ۱۲۴
فصل نهم /مبنای محاسبات دکل‌ها و برج‌های فلزی ۱۲۵
۹-۱ فشار دینامیک پایه‌ای ۱۲۵
۹-۲ ضریب آیرودینامیک ۱۲۸
۹-۳ تشکیل یخ ۱۲۹
۹-۴ ضریب فشار ۱۳۰
۹-۵ جابجایی جانبی مجاز ۱۳۱
۹-۶ ضریب اطمینان ۱۳۱
۹-۷ کشش مجاز فولاد ۱۳۱
۹-۸ فشار مجاز زمین ۱۳۲
فصل دهم /هزینه نسبی و بررسی موردی سازه‌ها ۱۳۳
۱-۱۰ هزینه نسبی انواع مختلف سازه‌ها ۱۳۳

۱۰-۲ نمونه‌هایی از برج‌ها و دکل‌های موجود ۱۳۶
۱۰-۲-۱ برج بتونی دورتموند ۱۳۷
۱۰-۲-۲ برج بتونی لندن (اداره پست بریتانیا) ۱۴۰
۱۰-۲-۳ برج بتونی با دکل مهاری در لاپیک ۱۴۲
۱۰-۲-۴ برج مشبک در کاخ کریستال لندن (بی بی سی) ۱۴۶
۱۰-۲-۵ برج مشبک کرایدون (اداره تلویزیون مستقل) ۱۴۸
۱۰-۲-۶ برج فولادی پیک دومیدی (سازمان رادیو تلویزیون فرانسه) ۱۵۱
۱۰-۲-۷ برج‌ها و دکل‌های اداره مخابرات دانمارک ۱۵۵
۱۰-۲-۸ دکل فولادی لوله‌ای تورفاس (بنگاه سخن پراکنی شمال آلمان) ۱۵۹
۱۰-۲-۹ دکل فولادی لوله‌ای بانگزبرگ (بنگاه سخن پراکنی شمال آلمان) ۱۶۳
فصل یازدهم / واژگان آنتن‌ها ۱۶۹
۱۱-۱ اصطلاح‌های بنیادین برای آنتن‌ها و تجهیزات آنها ۱۶۹
۱۱-۲ ویژگی‌های الکتریکی یا پخش و دریافت در آنتن‌ها ۱۷۲
۱۱-۲-۱ اصطلاح‌های وابسته به مفهوم میدان ۱۷۲
۱۱-۲-۲ اصطلاح‌های مربوط به مفهوم توان ۱۷۸
۱۱-۳ انواع آنتن‌های تعریف شده توسط ویژگی‌های برقی یا تابندگی اشان ۱۸۳
۱۱-۴ اصطلاح‌های معین برای آنتن‌های شامل رساناهای تشعشع‌کننده (فرستنده و گیرنده) ۱۸۸
۱۱-۴-۱ سازه‌های (اندام‌های) تابش (تشعشع) کننده ۱۸۸
۱۱-۴-۲ جریان‌ها، امپدانس‌ها و مفاهیم نامی ۱۸۹
۱۱-۴-۳ دوقطبی‌ها، حلقه‌ها و آنتن‌های وابسته ۱۹۱
۱۱-۴-۴ تک قطبی‌ها و آنتن‌های نزدیک به زمین ۱۹۴
۱۱-۴-۵ آنتن‌های دیگر ۱۹۷
۱۱-۵ اصطلاح‌های ویژه برای آنتن‌ها شامل سطح پخش و دهانه‌ها (روزنه ها) ۱۹۹
۱۱-۵-۱ دهانه‌های پخش (تشعشع‌کننده- گیرنده فرستنده) ۱۹۹
۱۱-۵-۲ بازتابنده‌ها و آنتن‌های بازتاب دهنده ۲۰۰
۱۱-۵-۳ آنتن‌های شیپوری (شاخی) ۲۰۴
۱۱-۵-۴ عدسی‌ها و آنتن‌های عدسی دار ۲۰۶
۱۱-۵-۵ آنتن شکافی ۲۰۸
۱۱-۶ ابزارهای (دستگاههای - وسایل) همراه با آنتن‌ها ۲۰۸
فصل دوازدهم / منابع و مآخذ ۲۱۳
۱۲-۱ منابع و مآخذ انگلیسی ۲۱۳
۱۲-۲ منابع و مآخذ فارسی ۲۱۴

کیلوگرم (که کروی شکل بود)، در چهارم اکتبر سال ۱۹۵۷ میلادی توسط شوروی به فضا پرتاب شد. این ماهواره وظیفه مطالعه بر روی طبقه یونسفر کره زمین، و انتشار امواج رادیوئی را بعهده داشت، که در چهارم ژانویه ۱۹۵۸ میلادی از بین رفت. در پی آن، فعالیتهای فضایی گوناگون در سالهای مختلف از سوی کشورهای جهان در زمینه ارتباطات فضایی و پرتاب ماهواره‌ها صورت گرفته، و هم اکنون هم ادامه دارد.

۷-۱-۱ اینترنت

اینترنت را باید بزرگترین وسیله ارتباطی دانست که تاکنون به دست انسان، طرّاحی، مهندسی و اجرا گردیده است. ریشهٔ این شبکهٔ عظیم جهانی به دههٔ ۱۹۶۰ باز می‌گردد، که دولت ایالات متّحدهٔ آمریکا بر روی پروژه تحقیقاتی ساخت شبکه‌ای پرقدرت، جهت ارتباطات کامپیوتری، سرمایه‌گذاری نمود. این پروژه تحقیقاتی بطور همزمان در کشورهای بریتانیا و فرانسه هم دنبال گردید. توافق بر سر اینکه اینترنت از چه زمانی به صورت یک شبکهٔ همگانی و جهان‌شمول در آمد، بسیار مشکل است، اما می‌توان از اوایل تا اواسط دهه ۱۹۸۰ میلادی را دوران بسیار مهمی در این صنعت برشمرد، که گام‌های بسیار جدی در راه پیشرفت و پیشبرد این اختراع برداشته شده است. وابسته شدن تمامی فعّالیت‌های بشر به اینترنت در مقیاسی بسیار عظیم و در زمانی چنین کوتاه، حکایت از آغاز یک دوران تاریخیِ نوین در عرصه‌های گوناگون علوم، فنّ‌آوری، و به خصوص در نحوه تفکّر انسان دارد. شواهد زیادی در دست است، که از آنچه اینترنت برای بشر خواهد ساخت و خواهد کرد، تنها مقدار بسیار اندکی به واقعیت درآمده است.

اینترنت، سامانه‌ای جهانی از شبکه‌های رایانه‌ای بهم پیوسته[1] است، که از پروتکل اینترنت برای ارتباط با یکدیگر استفاده مینماید. به عبارت دیگر اینترنت، شبکه شبکه‌هاست، که از میلیون‌ها شبکه خصوصی، عمومی، دانشگاهی، تجاری و دولتی در اندازه های محلی و کوچک، تا جهانی و بسیار بزرگ تشکیل شده است، که با آرایه وسیعی از فناوریهای الکترونیکی و نوری به هم متصل گشته‌اند. اینترنت در برگیرنده منابع اطلاعاتی و خدماتی گسترده ایست، که برجسته‌ترین آنها وب جهان گستر[2] می‌باشد. سازمان‌ها، مراکز علمی و تحقیقاتی و موسسات متعدد، نیازمند دستیابی به شبکه اینترنت برای ایجاد وبسایت، انجام تحقیقات و یا استفاده از امکانات دیگر این سیستم، می‌باشند. بسیاری از رسانه‌های ارتباطی سنتی، مانند تلفن و تلویزیون نیز با استفاده از اینترنت، تغییر شکل داده‌اند و یا مجدداً تعریف شده‌اند، و همچنین خدماتی جدید همچون صدا و تصویر روی پروتکل اینترنت ظهور کرده است. انتشار روزنامه و کتب علمی و مجلات با استفاده از این تکنولوژی راحت تر و سریعتر گردیده و تغییر شکل از وضعیت سنتی خود

1. Interconnected computer networks
2. World Wide Web (WWW)

داده‌اند. همچنین اینترنت اشکال جدیدی از تعامل بین انسانها را از طریق پیام‌رسانی فوری، تالار گفتگو و شبکه‌های اجتماعی بوجود آورده است.
اهمیت عظیم و شگرف این وسیله ارتباطی بر کسی پوشیده نمی‌باشد، اما به دلیل اینکه موضوع اینترنت، مستقیما با مباحث مطروحه در این کتاب مرتبط نمی‌باشد، به همین توضیح مختصر بسنده می‌گردد، و در ادامه به بحث در باره آنتن و ارتباطات رادیویی پرداخته می‌شود.

۲-۱ آنتن و ارتباطات

۱-۲-۱ امواج رادیویی

امواج رادیویی، گونه‌ای از امواج الکترومغناطیسی است، که طول موج آن در طیف الکترومغناطیسی بلندتر از مادون قرمز است. همانند دیگر موج های الکترومغناطیسی، موج های رادیویی نیز با سرعت نور حرکت می کنند. موج‌های رادیویی بصورت طبیعی توسط آذرخش و اجرام فلکی تولید می‌شوند. موج‌های رادیویی تولید شده بصورت مصنوعی، در سیستم‌های ارتباطی ثابت و متحرک، سخن‌پراکنی، رادار و دیگر سیستم‌های ناوبری، ارتباطات ماهواره‌ای، شبکه های رایانه‌ای و بسیاری دیگر، کاربرد دارند. فرکانسهای مختلف موج های رادیویی، دارای ویژگی های انتشار مختلفی در هواکره زمین، هستند. موج های رادیویی بلند، ممکن است بخشی از زمین را بصورت مداوم پوشش دهند. موج‌های رادیویی کوتاه نیز می توانند با پخش شدن بسوی یونوسفر، بازتاب شده و کل کره زمین را سیر کنند. طول موج‌های کوتاه‌تر، امکان بازتاب و خم‌شدگی بسیار کمی دارند، و فقط می‌توانند در خط دید، سیر کنند.

۱-۱-۲-۱ پخش امواج

مطالعه بر روی این پدیده الکترومغناطیسی، با مطالعه بر روی بازتاب، شکست، قطبش، انکسار و جذب آن، که اهمیت اساسی در مطالعه چگونگی حرکت موج های رادیویی در فضای آزاد و بر سطح زمین دارد، انجام گرفته است.
"هنریش هرتز"(۱۸۵۷-۱۸۹۴) آلمانی ضمن آزمایشات خود، ثابت نمود که صوت و نیروی برق را می توان به شکل امواج در فضا پخش کرد و همان طور که در سطح آب با انداختن یک سنگ، موج تولید می‌شود، صدای انسان و جریان الکتریسیته درون یک سیم هم می‌توانند، موج در فضا پخش نمایند. براساس آزمایشات وی، هرگاه انرژی الکتریکی به امواج تبدیل شود، هنگامی که این امواج به یک سیم یا جسم دیگری که هادی برق است، برسند، همان امواج در آن ایجاد می‌شود و انرژی الکتریکی را از مرکز اصلی به آن منتقل می‌کند. این آزمایشات مبنای ساختمان دستگاه های فرستنده و گیرنده، تلگراف و بی سیم قرار گرفتند و بعد از مدتی برای انتقال صدای انسان در رادیو، مورد استفاده واقع شدند. امواج رادیویی که اختراع "هرتز"

می‌باشند، به امواج هرتزی معروف شده‌اند.

۱-۲-۱-۲ ارسال امواج

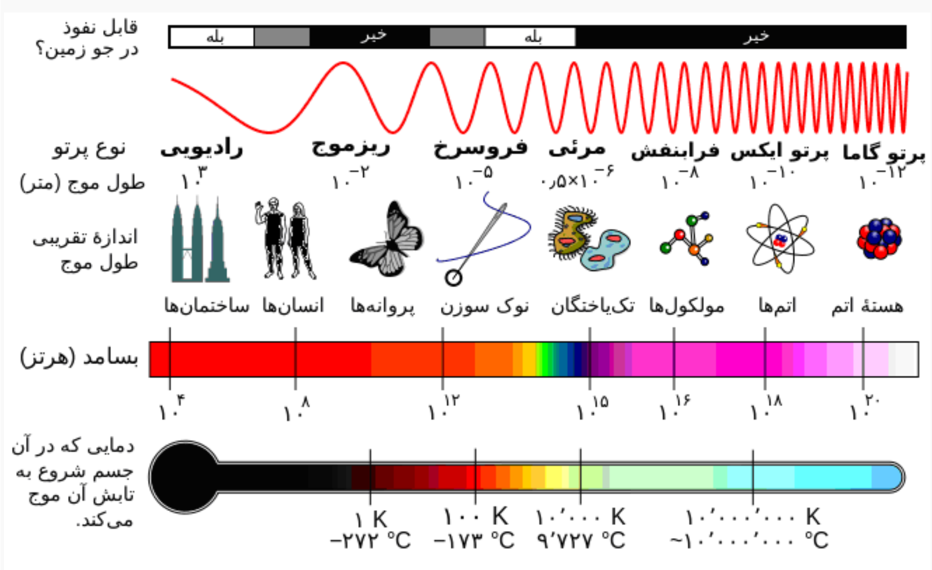
به‌طور کلی دو روش برای انتقال علائم فیزیکی نظیر صوت، تصویر، دیتا، فرمان و غیره، بین دو نقطه از فضا وجود دارد. روش اول، ارسال علائم به کمک خطوط (سیم‌های) انتقال، و روش دوم؛ که انتقال را در ابعاد وسیع‌تری مقدور می‌سازد، استفاده از انتشار امواج رادیویی از طریق فضا است. در این روش علائم مورد نظر به کمک مبدلّ‌های خاص، به علائم الکتریکی تبدیل شده و این علائم روی علائم الکتریکی با فرکانس بسیار بالاتر، مدوله می‌شوند. مدوله‌سازی یکی از امور مهمی است که برای انتقال موثر و مطمئن اطلاعات در فرستنده‌ها صورت می‌گیرد. علائم فرکانس مدوله شده، تقویت شده و از طریق آنتن فرستنده که می‌تواند انرژی الکتریکی را به انرژی الکترومغناطیسی تبدیل کند، در فضا و در جهات مورد نظر به صورت امواج الکترومغناطیس، انتشار می‌یابد. این امواج توسط آنتن گیرنده، که عکس عمل آنتن فرستنده را انجام می‌دهد، دریافت می‌شود و آنتن، فقط بخشی از انرژی امواج الکترومغناطیسی را که حاوی علائم فیزیکی است، دریافت می‌کند. علائم دریافتی توسط آنتن به کمک یک گیرنده، انتخاب، آشکارسازی و تقویت شده و توسط مبدل‌هایی که عکس عمل مبدل‌های قبلی را انجام می‌دهند، جهت استفاده، در اختیار مصرف‌کننده قرار می‌گیرد. امواج رادیویی با سرعت نور حرکت کرده و از آن جا که به خط مستقیم حرکت می‌کنند، برای این که انتقال صورت گیرد، باید آنتن گیرنده در دید آنتن فرستنده قرار داشته باشد. در نتیجه، فرستنده‌ها باید در نقاط مرتفع زمینی نصب شوند؛ تا منطقه بزرگی را پوشش دهند. البته فواصل دور را نیز می‌توان با بازتابش امواج رادیویی در یونوسفر تحت پوشش قرار داد. یونوسفر لایه گازی یونیزه شده در اتمسفر بالای سطح زمین؛ می‌باشد. امواج الکترومغناطیسی معمولاً با توجه به تواتر نوسان یا فرکانس آن‌ها؛ یعنی تعداد ارتعاشاتشان در یک ثانیه و همچنین طول آن‌ها مشخص می‌شوند. این امواج رادیویی، با واحد اندازه‌گیری "هرتز" (که معادل یک ارتعاش، یک گردش، یک دور یا یک سیکل در ثانیه است)، مورد سنجش قرار می‌گیرند.

۱-۲-۱-۳ طول امواج

مسأله طول امواج در سیستم ارتباطات رادیویی اهمیّت خاصی دارد؛ چراکه اگر طول امواج معلوم نباشد، ضبط آن‌ها عملی نیست. برای شناخت بهتر طول موج، مثال امواج آب، دوباره یادآوری می‌گردد. همان‌طور که امواج ناشی از پرتاب یک شیء به داخل آب، با توجه به بزرگی و کوچکی شیء پرتاب شده، با فواصل کمتر و یا زیادتر، به کناره آب می‌رسد، امواج رادیویی نیز فواصل زمانی مختلفی دارند. این فواصل زمانی، برای موج‌های کوچک، کمتر و

برای امواج بزرگتر، زیادتر است. بنابراین هرقدر تعداد امواج زیادتر باشد، طول آنها کمتر است. باید در نظر داشت، که فاصله امواج روی آب، با سرعت آنها ارتباط دارد و این سرعت، متناسب با عامل پیدایش آنها، متغیر است. در صورتی که سرعت امواج الکتریکی ثابت بوده و سرعت آنها معادل سرعت نور است. کوتاه ترین امواج (با طول موج کمتر از ده پیکومتر) که تواتر آنها بیش از ۳۰ میلیارد میلیارد دور در ثانیه است، با اشعه گاما و دیگر اشعه های کیهانی تطبیق می‌کنند و امواج با طول موج ده نانومتر تا ده پیکومتر، با اشعه ایکس انطباق دارند. طول امواج اشعه نورانی رؤیت شدنی، بین ۴ تا ۷ ده هزارم میلیمتر بوده و تواتر آنها بین ۳۷۵ تا ۷۵۰ هزار میلیارد دور در ثانیه است. شایان ذکر است که طول امواج هرتزی مورد استفاده انسان، بیش از نیم میلیمتر بوده و به ۳۰ کیلومتر هم می رسد. تواتر این گونه امواج، بین هزار میلیارد تا ده هزار دور ثانیه، متغیّر است.

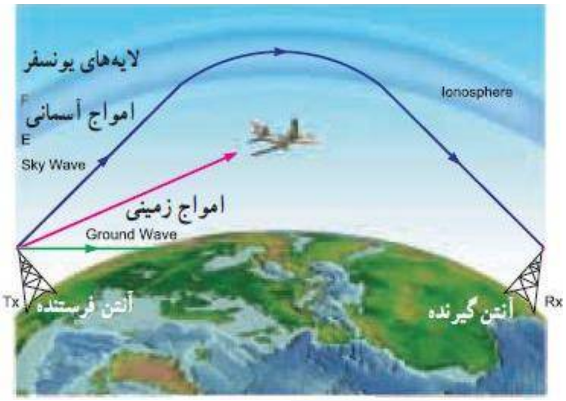
طول موج به فاصله بین دو قله متوالی موج (یا بین هر دو نقطه تکراری موج که شکل یکسان دارند)، گفته می‌شود و آن را با λ نشان می دهند. موجی که دارای فرکانس بالاتری است، طول موج کوتاه تر دارد و موجی که فرکانس پایین تری دارد، طول موج بلندتری دارد. امواج رادیویی به امواج بلند، متوسط، کوتاه و بسیار کوتاه تقسیم می‌شوند.



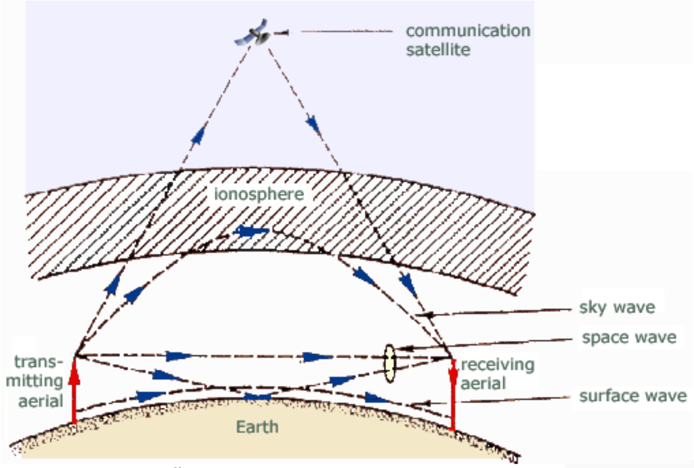
تصویر شماره ۱- مقایسه پرتوهای الکترومغناطیسی از نظر نوع، طول موج، بسامد (فرکانس) و دمایی که در آن اشیاء این موج را تابش می‌کنند.

۴-۱-۲-۱ شیوه‌های انتشار

امواج رادیویی، مسیرهای متفاوتی بین فرستنده و گیرنده را طی می‌کنند، و مهم‌ترین آنها عبارتند از: امواج زمینی، امواج آسمانی و امواج فضایی (تصاویر شماره ۲ و ۳).



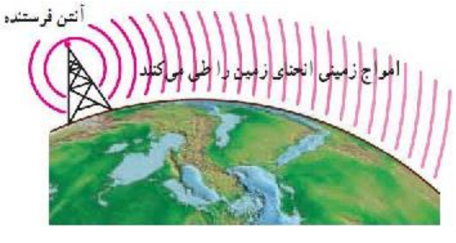
تصویر شماره ۲- کیفیت انتشار امواج



تصویر شماره ۳- شیوه انتشار امواج رادیویی: امواج زمینی، امواج آسمانی و امواج فضایی.

لازم به ذکر است که امواج ماهواره از نوع امواج فضایی می‌باشد.

امواج زمینی؛ امواج زمینی امواجی هستند که مسیر حرکتشان در سطح زمین است و انحنای زمین را طی می‌کنند. امواج زمینی به امواج سطحی نیز معروف هستند. امواج زمینی موقعی وجود دارند، که گیرنده و فرستنده نزدیک سطح زمین باشند، و چون فرکانس این امواج کم است، لذا مسافت کمی را می‌توانند طی کنند.



تصویر شماره ۴- مسیر حرکت امواج سطحی

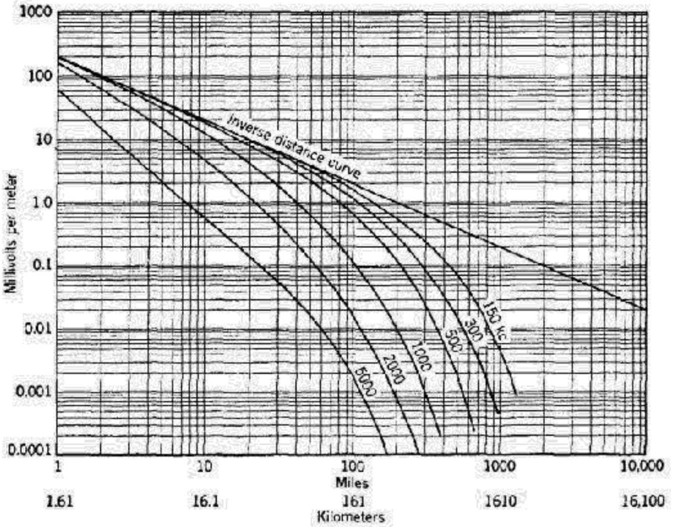
امواج زمینی شامل:

□ موج سطحی

□ موج مستقیم
□ موج منعکس شده

می‌باشد. اگر طول مسیرهای امواج مستقیم و منعکس شده یکی باشند، هنگام رسیدن به آنتن گیرنده، هم فاز بوده و یکدیگر را از بین می‌برند. در واقع طول مسیرها یکی نیستند، و به همین دلیل همواره فقط قسمتی از موج، از بین می‌رود.

همواره قدرت امواج الکترومغناطیسی به نسبت عکس فاصله تا آنتن فرستنده، کاهش می‌یابد. ولی چون زمین یک هادی کامل نیست، قسمتی از امواج سطحی جذب زمین می‌شود. بعبارت دیگر، موج سطحی در اثر جذب زمین، تضعیف شده و قدرت میدان، با سرعتی بیشتر از نسبت معکوس فاصله طی شده، کاهش می‌یابد. افت‌های زمینی با افزایش فرکانس اضافه می‌شود و همین امر دلیل عدم امکان انتشار امواج با فرکانس‌های بالا، بصورت امواج سطحی است.



تصویر شماره ۵- منحنی‌های مربوط به رابطه قدرت میدان با فاصله و فرکانس

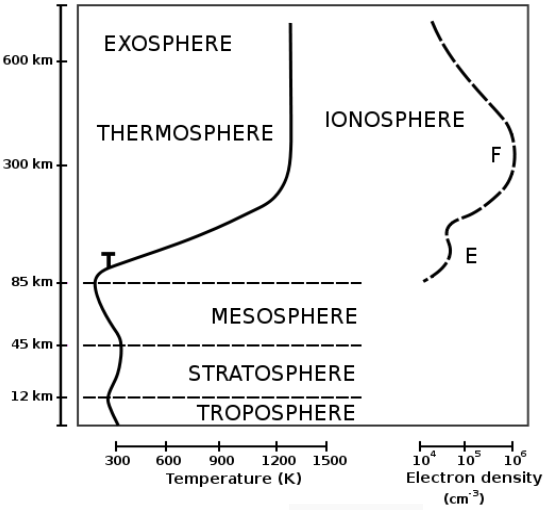
مشاهدات نشان داده که در فرکانس‌های بالاتر از ۱۵۰۰ کیلوسیکل در ثانیه (کیلوهرتز) مسئله افت‌ها، بحدی جدی می‌شود که دامنه عمل، فقط به چند مایل محدود می‌گردد.

اثرات زمینی بر روی انتشار امواج سطحی، با جزئیات زیاد مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفته و منحنی‌های مختلفی بدست آمده است، همانند تصویر شماره ۵ که رابطه بین قدرت میدان با فاصله و فرکانس، برای مسیرهای زمینی مختلف را نشان می‌دهد.

همانطوریکه در تصویر شماره ۵ ملاحظه می‌گردد با اضافه شدن فاصله، قدرت میدان کم می‌شود و نیز با افزایش فرکانس، قدرت میدان در یک فاصله مشخص از فرستنده، کاهش می‌یابد. موقعیکه مقدار فرکانس ۲۰۰۰ کیلوهرتز است دامنه تا ۱۰ مایل می‌رسد و به همین

ترتیب در فرکانس‌های بالاتر ادامه می‌یابد.
یادآوری می‌شود که موج زمینی (نوع سطحی) تنها برای فاصله‌های کوتاه با فرکانس‌های پایین و متوسط استفاده می‌شود. بنابراین برای پخش برنامه‌های رادیوئی برای مسافت‌های دور (مثلا برون مرزی) نمی‌توان از آن استفاده کرد.
امواج آسمانی؛ انتشار امواج آسمانی به نوعی انتشار اطلاق می گردد، که در آن امواج رادیویی منتشر شده در فضا، بعد از برخورد با لایه‌های یونیزه جو مجددا به طرف زمین منحرف می گردند. انکسار در هر قشری از فضا صورت می گیرد. یونسفر دارای چند طبقه یونیزه شده با ارتفاعات متفاوت، غلظتهای یونیزاسیون و مشخصات مختلف مربوط به خود می باشد. در ضمن هر طبقه ممکن است دارای چندین طبقه فرعی بوده که عمل انکسار در هر طبقه فرعی بطور جداگانه انجام می شود و بعد از چندین عمل انکسار در طبقات فرعی، موج بطرف زمین بر می گردد.
اینکه در چه نقطه ای، امواج آسمانی مجددا به زمین بر می گردند، بستگی به زاویه ترک موج (زاویه آغاز انتشار) و ارتفاع طبقه یونیزه شده مورد نظر، دارد. اگر موج آسمانی با دامنه موج زمینی فرستنده به زمین برسد، پدیده "فیدینگ" (محو شدگی) ایجاد می شود. این پدیده بستگی به برآیند میدان دارد که با دو مولفه دارای رابطه فازی نامحدود، یعنی موج منعکس شده و موج زمینی، تعیین می‌گردد.
روابط فازی نامحدود همچنین در اثر تغییرات مکرر در مشخصات یونسفر ایجاد می‌شود. به همین دلیل همواره سعی می‌شود تا از بکارگیری امواج آسمانی جهت پخش برنامه‌های رادیوئی در موج متوسط خودداری گردد، و با طراحی آنتن‌های مناسب می‌توان پخش تمام برنامه‌های رادیویی را توسط امواج زمینی انجام داد و این طراحی آنتن می‌بایست طوری باشد که قدرت موج آسمانی را کم کند، و بعبارت دیگر تنها امواج آسمانی هستند که بعد از انعکاس (بیشتر از تغییرات موج زمینی) به زمین می‌رسند و به همین دلیل ارتباطات راه دور را از این طریق امکانپذیر می‌سازد.
بنابراین، با انتخاب فرکانس متناسب و داشتن مشخصات یونسفر و تغییرات پریودیک و غیره می‌توان از طریق انتشار امواج آسمانی، ارتباطات راه دور را انجام داد (بخصوص در مورد پخش برنامه‌های رادیویی از طریق HF[1]).
ناحیه یونیزه جو، از حدود ۵۰ کیلومتری سطح زمین شروع می شود و تا ارتفاع حدود ۱۰۰۰ کیلومتری ادامه می‌یابد. همچنین ناحیه یونسفر، خود به سه لایه اصلی تقسیم بندی شده است، که به ترتیب (ارتفاع) به لایه‌های D, E , F معروف هستند.

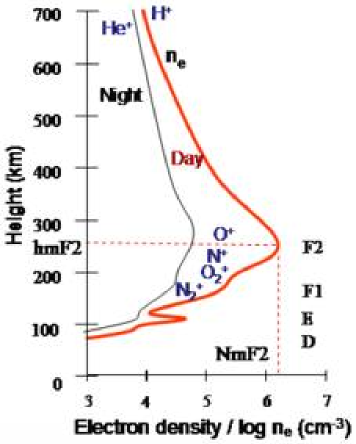
1. High Frequency



تصویر شماره ۶- لایه‌های مختلف جو

در شکل روبرو چگونگی تقسیم بندی لایه هـای مختلـف یونسفر در طول شب و روز، نشان داده شده اسـت. لایـه D که موجب جذب امواج رادیویی در محدوده فرکانسـی معینی می‌شود، در طول شب وجود ندارد.

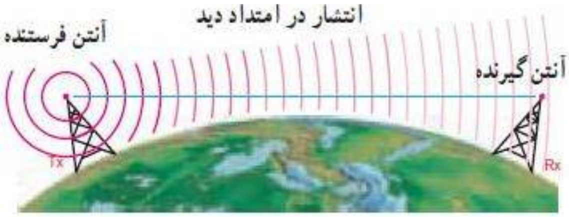
لایه D در ارتفاع حدود ۶۰ تا ۹۰ کیلـومتری قـرار دارد و فقط در هنگام روز به وجود می‌آید. اگر چه این لایـه بـه عنوان منعکس کننده امواج ELF و VLF و قسـمتی از LF عمل می‌کند، ولی نقش عمده‌ای در جذب انـرژی دارد، و در نتیجه در طول روز موجب تضعیف امواج رادیویی در باند MF و HF می‌شود. لایـه E در ارتفـاع حـدود ۹۰ تـا ۱۲۰ کیلومتری قرار دارد و چگالی یـون آن در طـول روز بسیار بالاتر از هنگام شب است. به همین دلیل اسـت کـه امواج رادیویی به هنگام روز در باند متوسط شدیدا در این لایـه تضـعیف مـی‌شـوند. در طـول شب امواج باند متوسط با کمترین تضعیف به طرف زمین منعکس می‌شوند.



تصویر شماره ۷- طبقات مختلف یونسفر در طول روز و شب

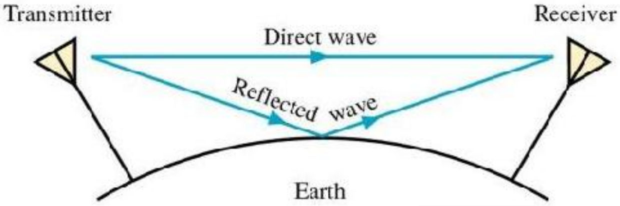
لایه F که در ارتفاع حدود ۱۵۰ تا ۸۰۰ کیلومتری قرار دارد، در هنگام روز به دو لایه فرعی، F_1 و F_2 تقسیم می‌شود، بطوری که لایه F_1 در ارتفاع حـدود ۱۵۰ کیلـومتری تـا ۲۲۰ کیلـومتری و لایه F_2 در ارتفاع حدود ۲۲۰ کیلومتری تا ۸۰۰ کیلـومتری قـرار دارد. آنچـه در پخـش صـدای رادیو موج کوتاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، وجود لایه‌های E و F است. انعکاس امـواج رادیویی HF در لایه F امکان برقراری ارتباط رادیویی بین نقاط بسیار دور را فراهم می‌سازد.

امواج فضایی؛ انتشار امواج فضایی به انتشار در امتداد دید نیز معروف است، چرا که باید فرستنده و گیرنده در دید مستقیم یکدیگر قرار بگیرند، تا بتوانند ارتباط برقرار کنند. در شکل زیر چگونگی انتشار امواج فضایی آمده است.



تصویر شماره ۸- انتشار امواج فضایی

انتشار امواج در فرکانس‌های خیلی بالا (VHF[1]) اساسا به امواج فضایی مربوط می‌شود، که درست بالای سطح زمین در اتمسفر حرکت می کنند. در مسیر حرکت امواج رادیوئی در فضای بالای زمین در طول انحنای زمین، نوعی خمیدگی ایجاد می‌شود که باعث افزایش دامنه امواج رادیوئی می‌گردد. بنابراین در انتشار امواج رادیویی VHF فقط فاصله‌ای را انتخاب می‌کنند که آنتن‌های فرستنده و گیرنده و تکرار کننده‌های بین راه، در دید یکدیگر باشند. همانطوریکه ذکر شد امواج فضایی متشکل از امواج مستقیم و امواج منعکس شده می‌باشند و در صورتیکه طول مسیرهای طی شده مساوی باشند، یکدیگر را از بین می‌برند. با وجود این، مقدار حذف، بستگی به چندین فاکتور، نظیر مقدار فاز، ضریب فاز منعکس در نقطه تابش، پرمیتیویته و قابلیت هدایت سطح زمین و غیره دارد.



تصویر شماره ۹- کیفیت انتشار امواج فضایی الکترومغناطیس

برای کم کردن حذف، می‌بایست اختلاف بین طول مسیرها تا آنجائیکه ممکن است زیاد باشد، این کار را می‌توان توسط اضافه کردن ارتفاع آنتن فرستنده و گیرنده انجام داد.

اگر ارتفاع آنتن ها برابر با ۲λ (دو برابر طول موج) یا بیشتر باشد، افت در زمین تقریبا قابل صرفنظر کردن می باشد. انتشار امواج VHF بطریق انتشار امواج سطحی، غیرممکن است، زیرا که افت مورد نظر خیلی زیاد خواهد شد.

حال، قدرت میدان در یک نقطه خاص دریافت، به نسبت رابطه بین موج مستقیم و موج

1. Very High Frequency

منعکس شده، تغییر می کند، رابطه فازی فوق الذکر توسط پارامتر ضریب انعکاس تعیین می شود. تغییرات مقدار ضریب انعکاس و فاز، تابعی از زاویه تابش است. موقعیکه سطح منعکس کننده، صاف است مقدار ضریب انعکاس، زیاد خواهد بود، زیرا در سطح‌های تخت انرژی منعکس شده در تمام جهات پراکندگی پیدا می‌کنند.

قدرت کل میدان در آنتن گیرنده از طریق جمع برداری موج مستقیم و موج منعکس شده بدست می‌آید. در ضمن فاز موج منعکس شده، می‌تواند بطور مناسبی توسط طول مسیر اضافی، تغییر یابد.

در عمل و بر حسب میزان انکسار، دامنه انتشار تا حدودی بیشتر از مقدار نظری آنست. مقدار نظری دامنه انتشار از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$D = 3.57\,(\sqrt{H_t} + \sqrt{H_r}\,)$$

که در آن D فاصله بین دو آنتن فرستنده و گیرنده بر حسب کیلومتر، و H_r و H_t ارتفاع (از سطح دریا) آنتن‌های فرستنده و گیرنده برحسب متر، می‌باشد.

با در نظر گرفتن اثر خمیدگی امواج رادیوئی در طول انحنای زمین، شعاع زمین را ۱/۳۳ برابر مقدار واقعی آن فرض می کنند و این به معنای افزایش ماگزیمم محدوده خدماتی به میزان حدود ۱۵ درصد می‌باشد، که در این صورت، فرمول فوق الذکر بشکل زیر خواهد بود:

$$D = 4.124\,(\sqrt{H_t} + \sqrt{H_r}\,)$$ [1]

امواج فضایی، برای سیستم‌های سیار مختلف باندهای VHF و SHF، سیستم‌های تلفنی چند کاناله و پخش رادیویی و تلویزیونی استفاده می‌شود و معمولاً دارای دو مؤلفه است: یکی به‌کمک یک بازتابش از زمین دور می‌شود و دیگری در یک خط تقریباً مستقیم بین آنتن‌های فرستنده و گیرنده سیر می‌کند.

امواج رادیویی ارسالی در اثر برخورد با موانع نظیر تپه و کوه بین آنتن‌های فرستنده و گیرنده، منکسر می‌شوند و اگر امواج از یک زاویه چرخشی عبور کنند، افتی برابر با ۶ دسی بل در قدرت سیگنال ایجاد می‌کنند. هرگاه مانع موجود، خط دید را مسدود نماید، مقدار افت حاصل به میزان موثری افزایش می‌یابد.

انتشار امواج UHF[2] نیز بر اساس همان اصول امواج VHF صورت می گیرد. طول موج امواج UHF کوچکتر است و این امر باعث می‌شود که اشیاء کوچکتر بتوانند ایجاد انعکاس نمایند. هم چنین آنتن‌های مربوط به این گونه امواج دارای ابعاد کوچکتری هستند و بهره و قابلیت هدایت آنها را می‌توان تا حدودی افزایش داد.

---

۱. در صورتیکه D بر حسب مایل، و H_r و H_t بر حسب فوت باشند، این فرمول به شکل زیر اصلاح می‌گردد:

$$D = 1.415\,(\sqrt{H_t} + \sqrt{H_r}\,)$$

2. Ultra High Frequency

۵-۱-۲-۱ طیف فرکانس امواج رادیویی

همانطور که قبلاً گفته شد؛ طیف فرکانس امواج رادیویی، محدوده‌ای از فرکانس‌هاست، که برای ارتباط دو نقطه از فضا، به‌کار برده می‌شود. طرق مختلف انتشار امواج رادیویی به میزان زیادی به فرکانس آن‌ها، بستگی دارد، و در هر روش و برای هریک از آنها طیف فرکانس خاصّی استفاده می‌شود.

به طور کلی می‌توان گفت، طیف امواج الکترومغناطیسی، شامل فرکانس‌های بسیار پایین تا فرکانس های بسیار بالا است. این طیف، بسته به نوع و کاربرد، به نواحی مختلفی تقسیم می‌شود و طیف فرکانس امواج رادیویی، تنها ناحیه کوچکی از این طیف است؛ که برای انتقال علائم مختلف از طریق فضا، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

امواج الکترومغناطیسی بر حسب فرکانسشان به نام‌های گوناگونی خوانده می‌شوند: امواج رادیویی، ریزموج، مادون قرمز، فرابنفش، پرتو ایکس و پرتو گاما. این پرتوها، به ترتیب افزایش فرکانس، در جدول زیر مرتب شده‌اند.

نام طیف	از فرکانس	تا فرکانس	به انگلیسی
اشعه گاما	۳۰ اگزاهرتز	۳۰۰ اگزاهرتز	γ
اشعه ایکس سخت	۳ اگزاهرتز	۳۰ اگزاهرتز	HX
اشعه ایکس نرم	۳۰ پتاهرتز	۳ اگزاهرتز	SX
فرابنفش دور	۳ پتاهرتز	۳۰ پتاهرتز	EUV
فرابنفش نزدیک	۳۰۰ تراهرتز	۳ پتاهرتز	NUV
موج کوتاه مادون قرمز	۳۰ تراهرتز	۳۰۰ تراهرتز	NIR
موج متوسط مادون قرمز	۳ تراهرتز	۳۰ تراهرتز	MIR
موج بلند مادون قرمز	۳۰۰ گیگاهرتز	۳ تراهرتز	FIR
فرکانس مافوق بالا (ریزموج)	۳۰ گیگاهرتز	۳۰۰ گیگاهرتز	EHF
فرکانس بسیار بالا (ریزموج)	۳ گیگاهرتز	۳۰ گیگاهرتز	SHF
فرکانس فرابالا (امواج رادیویی)	۳۰۰ مگاهرتز	۳ گیگاهرتز	UHF
فرکانس خیلی بالا (امواج رادیویی)	۳۰ مگاهرتز	۳۰۰ مگا هرتز	VHF
فرکانس بالا (امواج رادیویی)	۳ مگاهرتز	۳۰ مگا هرتز	HF

فرکانس متوسط (امواج رادیویی)	۳۰۰ کیلوهرتز	۳ مگاهرتز	MF
فرکانس پایین (امواج رادیویی)	۳۰ کیلو هرتز	۳۰۰ کیلوهرتز	LF
فرکانس خیلی پایین (امواج رادیویی)	۳ کیلو هرتز	۳۰ کیلو هرتز	VLF
فرکانس در حد صوت / فرکانس بسیار پایین (امواج رادیویی)	۳۰۰ هرتز	۳ کیلو هرتز	VF/ULF
فرکانس خیلی زیاد پایین (امواج رادیویی)	۳۰ هرتز	۳۰۰ هرتز	SLF
فرکانس فوق‌العاده پایین (امواج رادیویی)	۳ هرتز	۳۰ هرتز	ELF

۲-۲-۱ ساختمان آنتن و انواع آن

به طور کلی آنتن از یک سیم مستقیم تشکیل شده است، که اگر در فرستنده به کار رود، امواج فرستنده را به امواج الکترومغناطیس تبدیل نموده و پخش می‌نماید، و اگر در گیرنده به کار رود، امواج الکترومغناطیسی موجود در فضا را دریافت نموده و تبدیل به امواج الکتریکی نموده و جهت آشکار شدن، به مدار گیرنده می‌دهد.

معمولا در گیرنده‌ها، هر آنتن به ازاء یک فرکانس مشخصی، به تشدید درآمده و به ازاء آن فرکانس، ولتاژ ماگزیمم مشخصی تولید می‌نماید. هرگاه طول آنتن متناسب با طول موج دریافتی باشد، موج کاملا در آنتن قرار می‌گیرد، و اصطلاحا می‌گویند آنتن رزنانس شده و یا به تشدید در آمده است، یعنی آنتن با موج رسیده هماهنگ شده است و در این حالت ولتاژی که به آنتن رسیده، حداکثر است.

البته نیازی نیست که همیشه طول آنتن حتماً با طول موج رسیده کاملا برابر باشد، زیرا جهت رفع این مشکل، سیم پیچی را به همراه یک یا دو خازن متغیر به آنتن اضافه می‌کنند، تا حالت تشدید را در آنتن بوجود آورند.

اکنون برای شناسائی بهتر آنتن، اول به شرح کلی و مختصر تعدادی از آنتن‌ها از نظر شکل پرداخته می‌شود و سپس بطور اختصار در مورد آنتن‌ها در فرکانس‌های مختلف شرح داده می‌شود.

آنتن‌ها از نظر شکل، دارای طیف بسیار گسترده‌ای می‌باشند، و به انواع بسیار متفاوتی تقسیم می‌گردند. ذیلا به تعدادی از آنها اشاره می‌گردد:

- ☐ آنتن لوپ
- ☐ آنتن یک قطبی
- ☐ آنتن دوقطبی
- ☐ آنتن یاگی
- ☐ آنتن سهموی

تصویر شماره ۲۱- یک آنتن سهموی، بزرگترین وسیله برای ارتباطات ماهواره‌ای

آنتن های سهموی، در کاربردهایی مانند لینک های باز پخش مایکروویو که سیگنال تلویزیون و تلفن را بین شهرهای نزدیک انتقال می دهند، لینک های بیسیم شبکه گسترده(WAN) و شبکه محلی(LAN) برای انتقال دیتا، ارتباطات ماهواره‌ای و آنتن‌های ارتباطی فضاپیما، و همچنین در تلسکوپ‌های رادیویی، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳-۲-۱ تقسیم‌بندی آنتن‌ها از نظر نوع و مقدار فرکانس

همانطور که قبلا گفته شد، تفاوت اصلی بین آنتن‌هایی که در فرکانس‌های مختلف کار می‌کنند، در اندازه و شکل آنهاست. بجز مقدار فرکانس، بهره آنتن، قابلیت تحرک آنتن و پرتو تشعشعی مورد نیاز، همه در شکل فیزیکی آنتن اثر تعیین کننده دارند.

یادآوری می‌شود که موج فرستنده در میدان الکترومغناطیسی نوسان می‌کند، و موج توسط آنتن گیرنده دریافت می‌شود. تعداد نوسان موج در یک ثانیه را فرکانس گویند. هر چه فرکانس بیشتر شود، طبق رابطه زیر طول موج کمتر است:

$$C = f \times \lambda$$

C = سرعت امواج الکترومغناطیس است که برابر با ۳۰۰×۱۰^{۸} سانتیمتر بر ثانیه است.

f = فرکانس موج فرستنده بر حسب هرتز

λ = طول موج برحسب سانتیمتر

بنابراین در رابطه بالا چون C مقدار ثابتی است، فرکانس با طول موج نسبت عکس پیدا می کند. هر چه طول موج کوتاهتر باشد، فرکانس بالاتر است، و برعکس هر چه فرکانس پایین تر باشد، طول موج بلندتر است.

طول آنتن‌ها بستگی به طول موج، و طول موج هم بستگی به فرکانس دارد. بنابراین برحسب فرکانس مورد نیاز طول موج را بدست آورده و با استفاده از طول موج، اندازه آنتن مشخص می‌شود.

برای فهم بهتر موضوع، نمونه‌هایی از آنتن مورد استفاده در فرکانس‌های مختلف، در زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۲-۳-۱ آنتن‌های فرکانس بالا - HF

باند HF از ۳ مگاهرتز تا ۳۰ مگاهرتز را می‌پوشاند، و مقدار λ/۲ (طول آنتن) برای این فرکانس‌ها، از ۵ متر تا ۵۰ متر است. این آنتن‌ها، از نوع آنتن‌های دوقطبی λ/۲ (نیم موج) و آنتن یک قطبی می‌باشد. آنتن HF معمولاً بین دو پایه بطور افقی محکم کشیده می‌شود، و پایه‌ها خود بوسیله سیم‌های حایل فلزی محکم شده‌اند. البته خود آنتن نسبت به پایه‌ها عایق‌بندی شده است.

آنتن یک قطبی HF معمولاً بطور قائم وصل می‌شود. نظر به اینکه این آنتن شبیه به شلاق است، آنرا آنتن شلاقی نیز می‌خوانند. طول این آنتن، بستگی به فرکانس دارد. مزیت اصلی این نوع آنتن قائم، یکنواخت بودن تشعشع آن در تمام جهات یک صفحه افقی است. به همین دلیل از این نوع آنتن HF برای سیستم ارتباطات رادیوئی با پوشش وسیع، استفاده می‌شود.

۲-۲-۳-۱ آنتن‌های VHF/UHF

این نوع آنتن‌ها نیز از نوع آنتن‌های فرکانس بالاست، که باند فرکانسی آنها از ۳۰ مگاهرتز تا ۳ گیگاهرتز را میپوشاند. طول λ/۲ معادل آنها از ۵ سانتیمتر تا ۵ متر خواهد بود. در عمل، حد پائین طول، ۲۵ سانتیمتر است.

آنتن‌هایی که در این باندها بکار می‌روند، بعلت بهره بالائی که مورد نیاز است، اکثرا از آنتن‌های دوقطبی تاشده (دی پل دوبل) با منعکس کننده و جهت دهنده‌ها، استفاده می‌شود (مجموعه آنتن یاگی). اندازه آنها نسبتا کوچک است، بطوریکه براحتی برروی پشت بامها و دکل‌های آنتن، قابل نصب هستند. آنتن‌های تلویزیون در پشت بامها، نمونه آنتن‌های VHF-UHF (دوقطبی تاشده)، هستند.

۳-۲-۳-۱ آنتن‌های SHF یا آنتن‌های مایکروویو

برای باند فرکانس‌های فوق‌العاده بالا که بین ۳ گیگاهرتز تا ۳۰ گیگاهرتز قرار دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرند. حدود طول موج از یک سانتیمتر تا ۱۰ سانتیمتر تغییر می‌کند، و بعلت این طول موج بسیار کوچک، فرکانس‌های SHF معمولا فرکانس مایکروویو، نامیده می‌شوند.

ماهیت فرکانس‌های مایکروویو باعث می‌شود که خطوط انتقال برای حمل سیگنالهای مورد استفاده، از نوع موجبر، باشند.

در واقع انرژی فرکانس‌های رادیویی مایکروویو به توسط دیواره‌ای فلزی در داخل موجبر

محبوس می‌شود. ابعاد موجبر (سطح مقطع) بوسیله پایین‌ترین فرکانسی که از آن عبور می‌کند، معین می‌گردد. این موج الکترومغناطیس در داخل موجبر حرکت می‌کند.
موجبری که سیگنال رادیوئی را حمل می‌کند، بطور مناسبی خم شده و انتهای آن در کانون کاسه آنتن قرار دارد. کاسه آنتن، امواج الکترومغناطیس را که از درون موج، به آنتن میتابد، کانونی کرده، و بصورت یک شعاع باریک بداخل فضا میفرستد. سیگنالهای (امواج) مایکروویو بسیار شبیه به امواج نوری عمل می‌کنند. آنها می‌توانند مانند اشعه نورانی، کانونی شوند و یا منعکس گردند.
اندازه نسبی کاسه منعکس کننده آنتن، نسبت به طول موج، بهره آنتن را تعیین می‌کنند. هر چه کاسه آنتن بزرگتر باشد، میزان بهره بالاتر خواهد بود.
آنتن‌های کاسه‌ای بطور گسترده در ارتباطات رادیویی نقطه به نقطه مایکروویو بکار می‌روند. همانطور که در نوع آنتن سهموی گفته شد، این آنتن در ارتباطات مایکروویو رادار و ماهواره مورد استفاده قرار می‌گیرد. بهره این آنتن نسبت به آنتن‌های طولی (یک قطبی، دوقطبی و غیره) بسیار بهتر است و همین بهره فوق‌العاده است که آنتن‌های سهموی را یک ضرورت حیاتی برای سیستمهای مایکروویو تبدیل کرده است. گاهی اوقات کاسه آنتن‌های مایکروویو به دلیل اندازه و قطر بزرگشان، از سطوح فلزی مشبک ساخته می‌شوند. این امر برای کم کردن فشار باد، و بار ناشی از آن برروی دکل‌های حایل آنتن است. البته اندازه سوراخ‌های شبکه، باید در مقایسه با طول موج فرکانس اعمال شده، کوچک باشند.
منعکس کننده‌های مسطح نیز معمولا در سیستمهای ارتباط مایکروویو مورد استفاده قرار می‌گیرند. این منعکس کننده‌ها، برای تغییر جهت دسته شعاع انرژی مایکروویو از یک مسیر به مسیر مشخص دیگر، بکار می‌روند.
گاهی اوقات در سیستمهای مایکروویو، منعکس کننده‌های غیرفعال در بالای دکل، و آنتن سهموی در پایین آن نصب می‌شود. این عمل وقتی انجام می‌شود که ارتفاع دکل مورد نیاز از حد معینی (معمولا ۸۰ متر) تجاوز کند. این امر را برای جلوگیری از اتلاف موج در طول آنتن بالای دکل و رادیو فرستنده که باعث اتلاف انرژی می‌شود، انجام می‌دهند. کاسه اصلی، انرژی فرکانس رادیویی را به طرف منعکس کننده بالای دکل می‌فرستد. جهت منعکس کننده طوری تعیین شده که اشعه مایکروویو بطرف آنتن معین و مورد نظر بعدی فرستاده می‌شود.
کاسه‌های آنتن بوسیله روکش، پوشانده می‌شوند. این روکش‌ها جهت جلوگیری از جمع شدن باران، برف و حتی گاهی گرد و خاک در داخل کاسه‌هایی است که بطور افقی، نصب می‌شوند. وجود اشیاء خارجی در درون کاسه می‌تواند پرتو تشعشعی را تغییر داده، و بطور قابل ملاحظه‌ای در بهره آنتن اثر گذارد. ماده‌ای که روکش آنتن از آن ساخته می‌شود، معمولا از نوعی پلاستیک درست شده، که برای سیگنالهای مایکروویو شفاف می‌باشند.

فصل دوازدهم
منابع و مآخذ

۱۲-۱ منابع و مآخذ انگلیسی

{۱} Site selection for VHF and UHF transmitting stations ، E.B.U. Technical Monograph No. 3104, 1965.

{۲} Technical data used by the European VHF/ UHF Broadcasting Conference, Stockholm 1961 . Published by the I.T.U. Geneva.

{۳} Atlas of ground-wave propagation curves for frequencies between 30 Mc/s and 300Mc/s . Published by the I.T.U. Geneva.

{۴} Renoir, M., Dassonville, R., Destrade, M. and Pham van Cang, L.: Les antennes C.S.F. pour la television en ondes decimetriques (C.S.F. antennas for television at decimetric wavelengths). Chesneau, R.: Antennes de television C.F.T.H. pour ondes decimetriques (C.F.T.H. television antennas for decimetric waves). L'Onde Electrique, No. 452, November, 1964, issue dealing with television on decimetric waves.

{۵} Bononyi, J. and Wills, R.G. : The development of transmitting aerials for bands IV and V. Sound and Vision Broadcasting, Vol. 5, No. 3, Winter 1964/ 65.

{۶} WBAL, WJZ and WMAR build the world's first three antenna candelabra. R.C.A. Broadcast News, Vol. 106, December, 1964.

{۷} Television satellite stations. E.B.U. document TECH. 3079, 1959.

{۸} Shellard, H.C.: Extreme wind speeds over the United Kingdom for periods ending 1959. The Meteorological Magazine, Vol. 91, No. 1, February, 1962.

{۹} Report No. 14 of the Institut fur Rundfunktechnik, Hamburg, June, 1959.

{۱۰} Drabowitch, S.: L'antenne a panneau directif et ses dispositifs d'alimentation (Directional panel aerials and feeding arrangements). Revue Technique C.F.T.H., No. 23, September, 1959.

{۱۱}Rateau, M.: Les antennes panneaux a fentes pour ondes decimetriques (Slot antennas: Principles and practice). L'Onde Electrique, No. 452, November, 1964, issue dealing with television on decimetric waves.

{۱۲}Hanneman, I.G., Ramboll, B.J. and Mogensen, Ib: Steel masts and towers for the Danish Radio and TV broadcasting systems. Teleteknik, Vol. 2, No. 1, 1958.

{۱۳}Hayden, J.R.: Tall television towers. Boston Society of Civil Engineers Journal, October, 1957.

{۱۴} Transmitting aerial systems for Band I .Document No. 3909 E, International Television Conference, June, 1963.

{۱۵} The degradation of existing services caused by the erection of a new mast at an existing site. B.B.C. Research Department Report No. E 083.

{۱۶} Hill, P.C.J.: Measurement of reradiation from lattice masts at VHF. Proceedings of the I.E.E., Vol. 111, No. 12, December, 1964, pp. 1957-1968.

{۱۷} Berner, H.: Die Antennenanlage auf dem Donnersberg (The aerial installation on the Donnersberg). SEL Nachrichten, Vol. 11, No. 2, 1963, pp. 86-92.

{۱۸} Huber, F.R. and Neubauer, H.: Die Goubau-Leitung im praktischen Einsatz (Practical utilisation of a Goubau line). Rohde & Schwarz Mitteilungen, No. 13, April 1960, pp. 332-343.

{۱۹} Thielcke, H.: The sharing by VHF and UHF transmitters of medium-wave transmitter sites. E.B.U. Review, No. 83-A, February, 1964.

{۲۰} General Characteristics of aerial towers and masts for metric and decimetric waves. (Information furnished by Members of the E.B.U.). E.B.U. document Com. T. 148 (September, 1961)

{۲۱}Towers and Masts for VHF & UHF transmitting aerials. F.D.Bolt, E.B.U. Technical Centre, Technical Monograph, No. 3103, 1965

۲-۱۲ منابع و مآخذ فارسی

{۲۲} شرکت سهامی مدیریت تولید، انتقال و توزیع نیروی برق ایران (توانیر)، فرهنگنامه برق IEC

{۲۳} سجاد پورنقی باهوش، مخابرات دیجیتال؛ مقاله وبلاگ ۱۳۹۱

{۲۴} سید حسن حسینی الست، دنیای شگفت انگیز ارتباطات ماهواره‌ای، سروش ۱۳۶۳

اولین کتاب تخصصی در زمینه طراحی برج‌ها و دکل‌ها، ویژه مهندسین سازه و مخابرات

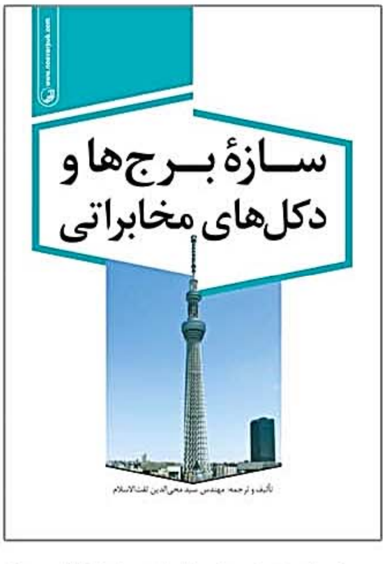
Structural Arrangements for Telecom
Towers & Masts

مخابرات بخش مهمی از جامعه مدرن است، و امروزه بر همگان آشکار می‌باشد که رادیو و تلویزیون، اهمیت ویژه‌ای را در رساندن اخبار و اطلاعات به اقصی نقاط جهان دارا بوده، و اثرات فرهنگی عظیمی در جامعه بر جای می‌گذارد. هم اینک با استفاده از پیشرفت‌های تکنولوژی چند دهه اخیر، روز به روز بر حیطه عمل و کارآیی این تاسیسات افزوده شده و با بکارگیری ماهواره‌های مخابراتی، امکان پوشش جهانی برای فرستنده‌ها بوجود آمده است. در این میان نیاز به آنتن‌های فرستنده زمینی و احداث دکل‌ها و برج‌های فلزی و بتنی، برای نصب آنتن‌های فرستنده جهت رساندن امواج به گیرنده‌های متعارف، ضروری می‌باشد.

طراحی و احداث سازه‌های مخابراتی مسئله‌ای بسیار تخصصی می‌باشد، که همکاری مهندسان مخابرات، سازه و معمار را طلب می‌نماید. این سازه‌ها می‌توانند در محدوده شهرها بعنوان سازه‌ای نمادین احداث گردند، و یا ممکن است در نقاط مرتفع کوهستانی برپا گردند.

این سازه‌های عظیم و توانمند، که نشان‌دهنده قدرت و شکوه تمدن بشری می‌باشند، چگونه باید احداث گردند؟ عوامل مؤثر بر طراحی آنها چیست؟ فاکتورهای مؤثر جهت انتخاب مکان برپایی آنها، چه می‌باشد، و عوامل تاثیرگذار بر ارتفاع مؤثر آنها چگونه محاسبه می‌گردد؟ اقلیم سایت مورد نظر، چه تأثیری بر سازه مطلوب دارد، و جواب ده‌ها پرسش دیگر، در مجموعه این کتاب مورد بررسی قرار گرفته شده است.

کتاب حاضر، اولین کتاب به زبان فارسی می‌باشد، که در زمینه چگونگی طراحی برج‌ها و دکل‌های مخابراتی به تحقیق و پژوهش پرداخته است، و متشکل از دوازده فصل می‌باشد. در هر یک از فصول، راجع به مسائل اجرایی، فنی و تکنیکی آنتن‌ها و همچنین سازه‌های پایه نگاه‌دارنده آنها، به تفصیل سخن رفته است، و در فصول نهم و دهم، به مبانی نظری مسائل مطروحه پرداخته، و چند برج و دکل بعنوان مصادیق موجود، مورد بررسی قرار گرفته شده است. در انتهای کتاب، واژه نامه آنتن‌ها و تجهیزات مربوطه، جهت استفاده خوانندگان گرامی به مجموعه کتاب اضافه گردیده است.



Seyed Mohyeddin Seghatoleslam

نشر نوآور
تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱
شابک: ۰-۲۰۷-۱۶۸-۶۰۰-۹۷۸
DESIGN:H.MAZIYAR